



МРНТИ 06.33.29

<https://doi.org/10.32523/2616-7034-2025-151-2-8-27>

Научная статья

Виды актиномицетов рода *Streptomyces*, распространенных в навозе КРС, и их влияние на рост проростков яровой пшеницы

А.П. Науанова^{1,2}, А.Н. Конкыбаева^{2*}, Д.М. Ерпашева², А.Б. Онгарбай²,
А.А. Аманжолова²

¹Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина, Астана, Казахстан

²Био-КАТУ, Астана, Казахстан

*Автор-корреспондент: adina.kon@mail.ru

Аннотация. В данной статье представлены культурально-морфологические признаки актиномицетов, выделенных из коровьего навоза, а также результаты их генотипирования и оценки ростостимулирующих свойств в отношении к проросткам яровой пшеницы. В условиях *in vitro* была проведена инокуляция семян штаммами *Streptomyces macrosporeus* шт.№32, *Streptomyces albogriseolus* шт.№37, *Streptomyces pratensis* шт.№24, *Streptomyces griseorubens* шт.№34 и *Streptomyces flavofuscus* шт.№38, *Streptomyces pratensis* шт.№24. В результате была установлена высокая эффективность этих микроорганизмов в стимулировании роста растений. Обработка семян культуральными фильтратами штаммов *Str. albogriseolus* шт.№37 и *Str. flavofuscus* шт.№38 обеспечила 100% всхожесть семян, что свидетельствует о высокой биологической эффективности данных штаммов. Некоторые штаммы эффективно стимулировали развитие корневой системы, тогда как другие увеличивали всхожесть семян или демонстрировали способность к синтезу цитокининов. Так, обработка семян пшеницы суспензией штаммов *Str. pratensis* шт.№24, *Str. griseorubens* шт.№34, *Str. albogriseolus* шт.№37 и *Str. flavofuscus* шт.№38 привела к заметному повышению всхожести. Максимальное увеличение длины корешков составил 1,8 раза, а длина проростков увеличилась в 3,3 раза по сравнению с контролем, что свидетельствует о целесообразности использования данных штаммов в агрономии. Наиболее выраженное влияние на развитие проростков оказывали штаммы *Str. flavofuscus* шт.№38, *Str. albogriseolus* шт.№37 и *Str. griseorubens* шт.№34, причем максимальная длина проростков была достигнута при инокуляции штаммом *Str. flavofuscus* шт.№38, что указывает на его высокую ростостимулирующую активность. Для стимуляции роста корешков оптимальными оказались штаммы *Str. albogriseolus* шт.№37 и *Str. flavofuscus* шт.№38, обеспечивающие увеличение длины корней до 1,7 раза по сравнению с контролем. В этом контексте использование штаммов *Streptomyces sp* в качестве биопрепаратов представляет собой перспективное направление для экологически чистого сельского хозяйства.

Ключевые слова: актиномицеты, коровий навоз, пшеница, питательные среды, ростостимулирующие свойства

Поступила: 23.03.2025. Одобрена: 24.06.2025. Доступна онлайн: 04.07.2025

Введение

Экономическое развитие Казахстана как аграрной республики во многом определяется состоянием сельскохозяйственного сектора, который зависит от высокой урожайности, преимущественно зерновых культур. Зерновые культуры являются универсальным фактором экономической стабильности страны. В этом контексте биопрепараты играют ключевую роль, наделяя фермерские практики новыми возможностями и открывая горизонты для устойчивого развития. С учетом нарастающего влияния экологических факторов и изменения климата актуальной задачей является использование природных механизмов, способствующих восстановлению и поддержанию плодородия почвы [1].

Успешность сельскохозяйственного производства, урожайность и качество продукции напрямую связаны с биологической активностью почвы, на которую влияют численность и состав микрофлоры, включающей как полезные, так и патогенные микроорганизмы [2,3]. Поиск новых источников биологически активных веществ природного происхождения остается актуальной задачей, учитывая рост доли биопрепаратов в сельском хозяйстве и повышения устойчивости вредоносных организмов к традиционным средствам защиты растений [4].

Актиномицеты составляют значительную часть микробного сообщества почвы [5]. В частности, почвенные актинобактерии рода *Streptomyces* представляют собой неисчерпаемый источник биоактивных соединений. Несмотря на то, что в современных базах данных зарегистрировано свыше 10 тысяч биологически активных соединений, синтезируемых этими микроорганизмами, их биологический потенциал остается далеко не полностью изученным [6].

Род *Streptomyces* является крупнейшей группой семейства актинобактерий *Streptomycetaceae*, включающей более 691 верифицированного вида. Наибольший интерес представляют их биологически активные вторичные метаболиты, включая противогрибковые, противовирусные, противоопухолевые и гипотензивные соединения, а также антибиотики и иммунодепрессанты [7].

Продуктивность сельского хозяйства во многом зависит от присутствия почвенных микроорганизмов, способных продуцировать ферменты, белки и антибиотики, подавляющие фитопатогены и защищающие растения от заболеваний [8]. Однако не все микроорганизмы обладают такими функциями [9].

Идентификация микроорганизмов достигает видового уровня, что позволяет оценить их потенциальные биотехнологические свойства [10]. Классификация актиномицетов представляет собой сложную задачу, требующую анализа их биохимических свойств. Тем не менее, с помощью морфологического определителя Гаузе можно дифференцировать роды *Streptomyces* и классифицировать его представителей по секциям и сериям [11].

Анализ соотношения морфотипов позволяет оценить структуру актиномицетного комплекса в разных экосистемах [12,13]. При определенных условиях актиномицеты способны синтезировать антибиотики, что стало основой для создания биопрепаратов, стимулирующих рост и развитие растений [14].

Изменения в составе микробных групп, таких, как бактерии, актиномицеты и грибы, способствуют глубокому пониманию процессов компостирования [15]. Хотя большинство

исследований сосредоточено на микробных изменениях в процессе компостирования, анализ свежих образцов навоза остается недостаточно изученным [16].

В последние годы использование полезных микроорганизмов в сельском хозяйстве продемонстрировало их положительное влияние на урожайность и качество зерновых культур в неблагоприятных условиях [17-19].

Целью данного исследования является изучение способности некоторых штаммов актиномицетов, выделенных из коровьего навоза, к образованию биомассы на различных питательных средах и их влияния на рост яровой пшеницы. Ключевую роль в разработке биопрепарата играют численность и состав микроорганизмов, что делает актуальным поиск и характеристику перспективных штаммов для экологически чистого сельского хозяйства.

Материалы и методы исследований

Исследование проводилось с применением как общепринятых, так и специализированных методов. Для достижения поставленных целей использовались микробиологические техники, включая селективные питательные среды и метод серийного разведения. Таксономическая классификация выделенных микроорганизмов проводилась с помощью окрашивания культур и последующего микроскопического анализа морфологических характеристик [20].

Объектом исследования являлся коровий навоз. Эксперименты проводились в лаборатории биотехнологии микроорганизмов ТОО «Био-КАТУ». Изоляция микроорганизмов из коровьего навоза осуществлялась методом посева разведенных суспензий на плотные питательные среды [21].

Количественное содержание бактерий, использующих органическую форму азота, оценивали на мясопептонном агаре (МПА); а для бактерий и актиномицетов, использующих минеральный источник азота, применяли крахмало-аммиачный агар (КАА). Аэробные целлюлозоразрушающие микроорганизмы выявляли на среде Гетчинсона с последующим разделением по группам [22]. Численность и структура микробного комплекса определялась методом посева разведений на плотные питательные среды. Общая микробная обсемененность вычислялась по числу выросших колоний, а колониеобразующие единицы (КОЕ) в 1 мл рассчитывались по формуле (1):

$$M = a \times 10^n / V, \quad (1)$$

где a – количество выросших колоний;

10^n – разведение;

V – посевная доза (0,1 мл).

Идентификация микроорганизмов проводилась методом прямого секвенирования нуклеотидной последовательности 16S рРНК. Для определения нуклеотидной идентичности использовали сравнение с международной базой Gene Bank. Амплификация гена

16S рРНК проводилась с помощью ПЦР с праймерами «8f 5'–AGAGTTTGATCCTGGCTCAG-3» и «806R- 5' GGACTACCAGGGTATCTAAT». Идентификация проводилась в Gene Bank с алгоритмом BLAST (<http://blast.ncbi.nlm.nih.gov/>).

Выделение ДНК осуществляли с использованием набора «ДНК/РНК-С-ФАКТОР», а ее концентрацию определяли с помощью спектрофотометра NanoDrop 1000 при длинах волн 260 нм и 280 нм. Реакция ПЦР включала компоненты, такие, как 25 нг ДНК и Taq Polymerase, термоциклирование при 95°C, 55°C и 72°C.

Анализ амплифицированных фрагментов проводили методом электрофореза в агарозном гелем в системе PowerPac, визуализируя ДНК с бромидом этидия. Очистку ПЦР-продуктов выполняли методом магнитной очистки. Секвенирование осуществлялось с использованием BigDye® Terminator Kit, а анализ последовательности выполняли в SeqMan (DNA Star) с последующим сравнением с базами данных. Филогенетические деревья строили с использованием программы Mega X и алгоритм Muscle [23].

В лабораторных условиях, в соответствии с методикой О.А. Берестецкого [24], исследовали ростостимулирующие свойства культуральных фильтратов (КФ) актиномицетов на проростках яровой пшеницы.

Семена замачивали в КФ в течение 24 часов. В каждом варианте использовали 30 семян, свободных от внешних признаков заболеваний. По завершении обработки семена промывали водопроводной водой, затем переносились на фильтровальную бумагу в чашки Петри, где их культивировали в течение семи суток при 20-22°C. В результате анализа были определены ключевые показатели: энергия прорастания, всхожесть семян, общее количество проросших семян, а также длина как ростка, так и корня.

Полученные результаты расширяют представления о взаимодействии микроорганизмов и сельскохозяйственных культур, демонстрируя влияние почвенной микробиоты на рост и развитие растений. Исследование подчеркивает значимость актиномицетов в экологически устойчивом сельском хозяйстве, открывая перспективы для разработки эффективных биопрепаратов.

Результаты исследования

Изучен микробный состав коровьего навоза с акцентом на количественный и качественный анализ микроорганизмов. Выделение микроорганизмов проводилось на четырех различных твердых питательных средах: МПА, КАА, Эшби и Гаузе (Таблица 1). Результаты микробиологического анализа показали, что исследуемые образцы содержат широкий спектр микроорганизмов различных категорий. В свежем навозе отмечено значительное количество микроорганизмов, использующих органические формы азота.

Таблица 1

Результаты микробиологического анализа навоза на твердых питательных средах (КОЕ/мл)

Вариант	МПА	КАА	Гаузе	Эшби
Коровий навоз	9×10^6	7×10^6	4×10^4	20×10^6

Согласно полученным данным, число аммонификаторов на МПА составило 9 млн/мл, тогда как микроорганизмы, потребляющие минеральные формы азота, были зафиксированы в количестве 7 млн/мл на крахмально-аммиачном агаре. Оценка количественного и качественного состава микроорганизмов, обитающих в свежем навозе, позволила выделить чистые культуры для последующего изучения их свойств и потенциального использования в разработке эффективных биопрепаратов. Хотя некоторые из этих микроорганизмов могут способствовать росту растений и повышению плодородия почвы.

Таблица 2 содержит описание культурально-морфологических признаков выделенных штаммов. Колонии бактерий, выделенные на МПА, характеризуются круглой формой, матовой текстурой и ровными краями, с окраской от белого до бело-желтого (таблица 2). Их диаметр на чашках Петри составляет 5 мм, структура колоний однородная и мелкозернистая, при этом многие штаммы пропускают свет.

Таблица 2

**Культурально-морфологические свойства актиномицетов,
выделенных из коровьего навоза**

Штаммы	Среда	Размер, мм	Форма	Профиль	Край	Поверхность	Оптические свойства поверхности	Цвет	Структура	Консистенция
шт.№24	Гаузе	10	К	В	Р	Г	Непрозрачная	Оранжевый	Неоднородная	С
шт.№32	МПА	5	К	П	Р	М	Прозрачная	Белый	Однородная	Пл
шт.№34	КАА	4	К	В	Н	М	Непрозрачная	Белый	Однородная	С
шт.№37	КАА	2	К	В	Р	Г	Непрозрачная	Белый с ободком	Однородная	Пл
шт.№38	КАА	2,5	К	В	Н	Г	Прозрачная	Бело-молочный	Однородная	С
шт.№41	Гетчинсон	5,8	К	В	Г	Г	Непрозрачная	Бело-серый	Однородная	С

Примечание: К- Круглая; В – Выпуклый; П – Плоский; Р – Ровный; Н – Неровный; М – Матовая; Г – Гладкий; С – Слизистая; Пл – Плотная.

В результате генотипирования микроорганизмов выявлено, что в навозе КРС распространены такие виды, как *Streptomyces flavofuscus*, *Streptomyces griseorubens*, *Streptomyces albogriseolus*, *Streptomyces macrosporeus*, *Streptomyces pratensis* (таблица 3).

Колонии, выращенные на питательной среде Гаузе, имеют выпуклый профиль, гладкую поверхность и окраску от светло-бледного до оранжевого. Диаметр этих колоний доходит до 10 мм, их структура неоднородная, но более крупнозернистая, а оптические свойства большинства штаммов мутные. Консистенция колоний сухая.

Бактерии, выросшие на среде КАА, образовывали выпуклые колонии с глянцевой текстурой, цвет которых варьировался от прозрачного до белого, а диаметр составлял 2-4 мм.

Микроорганизмы, разрушающие целлюлозу, формировали выпуклые колонии с порошкообразной поверхностью, окрашенные в белый или серый цвет, с диаметром 5-6 мм. На среде Гетчинсона преобладали почвенные актиномицеты.

Таблица 3

Результаты генотипирования микроорганизмов

№ п/п	Последовательность	Наименование штамма
1	TGCGGCGTGCTTACACATGCAAGTCGAACGATGAACCACTTCGGTGGGGATT AGTGGCGAACGGGTGAGTAACACGTGGGCAATCTGCCCTGCACTCTGGGACAA GCCCTGGAAACGGGGTCTAATACCGGATACTGACCCGCTTGGGCATCCAAGCG GTTTCGAAAGCTCCGGCGGTGCAGGATGAGCCCGCGGCCTATCAGCTTGTGGT GAGGTAATGGCTCACCAAGGCGACGACGGGTAGCCGGCCTGAGAGGGCGACCG GCCACACTGGGACTGAGACACGGCCCAGACTCCTACGGGAGGCAGCAGTGGGG AATATTGCACAATGGGCGAAAGCCTGATGCAGCGACGCCGCTGAGGGATGAC GGCCTTCGGGTTGTAAACCTCTTTCAGCAGGGAAGAAGCGAAAGTGACGGTAC CTGCAGAAGAAGCGCCGGCTAACTACGTGCCAGCAGCCGCGTAATACGTAGG GCGCGAGCGTTGTCCGGAATTATTGGGCGTAAAGAGCTCGTAGGCGGCTTGT GCGTCGGTTGTGAAAGCCCGGGGCTTAACCCCGGGTCTGCAGTCGATACGGGC AGGCTAGAGTTTCGGTAGGGGAGATCGGAATTCCTGGTGTAGCGGTGAAATGCG CAGATATCAGGAGGAACACCGGTGGCGAAGGCGGATCTCTGGGCCGATACTGA CGCTGAGGAGCGAAAGCGTGGGGAGCGAACAGGATTAGATAC	<i>Streptomyces macrosporeus</i> шт.№24
2	GCATGCTTACACATGCAAGTCGAACGATGAACCACTTCGGTGGGGATTAGTG GCCAACGGGTGAGTAACACGTGGGCAATCTGCCCTGCACTCTGGGACAAGCC CTGGAAACGGGGTCTAATACCGGATACTGACCCGCTTGGGCATCCAAGCGGT TCGAAAGCTCCGGCGGTGCAGGATGAGCCCGCGGCCTATCAGCTTGTGGTGA GGTAATGGCTCACCAAGGCGACGACGGGTAGCCGGCCTGAGAGGGCGACCGGC CACACTGGGACTGAGACACGGCCCAGACTCCTACGGGAGGCAGCAGTGGGGAA TATTGCACAATGGGCGAAAGCCTGATGCAGCGACGCCGCTGAGGGATGACGG CCTTCGGGTTGTAAACCTCTTTCAGCAGGGAAGAAGCGAAAGTGACGGTACCT GCAGAAGAAGCGCCGGCTAACTACGTGCCAGCAGCCGCGTAATACGTAGGGC GCGAGCGTTGTCCGGAATTATTGGGCGTAAAGAGCTCGTAGGCGGCTTGTAC GTCGGTTGTGAAAGCCCGGGGCTTAACCCCGGGTCTGCAGTCGATACGGGCAG GCTAGAGTTTCGGTAGGGGAGATCGGAATTCCTGGTGTAGCGGTGAAATGCGCA	<i>Streptomyces albogriseolus</i> шт.№32
	GATATCAGGAGGAACACCGGTGGCGAAGGCGGATCTCTGGGCCGATACTGACG CTGAGGAGCGAAAGCGTGGGGAGCGAACAGGATTAGATACCTGGTAGT	

3	TCGTACGATGAAGCCGCTTCGGTGGTGGATTAGTGGCGAACGGGTGAGTAAC ACGTGGGCAATCTGCCCTTCACTCTGGGACAAGCCCTGGAACGGGGTCTAA TACCGGATAACACTCTGTCCCGCATGGGACGGGGTTAAAAGCTCCGGCGGTG AAGGATGAGCCCGCGGCCTATCAGCTTGTGGTGGGGTAATGGCCTACCAAG GCGACGACGGGTAGCCGGCCTGAGAGGGCGACCGGCCACACTGGGACTGAGAC ACGGCCAGACTCCTACGGGAGGCAGCAGTGGGGAATATTGCACAATGGGCGA AAGCCTGATGCAGCGACGCCGCTGAGGGATGACGGCCTTCGGGTGTAAAC	<i>Streptomyces</i> <i>pratensis</i> шт.№34
4	TACACATGCAGTCGAACGATGAACCACTTCGGTGGGGATTAGTGGCGAA CGGGTGAGTAACACGTGGGCAATCTGCCCTGCACTCTGGGACAAGCCCT GGAACGGGGTCTAATACCGGATACTGACCCGCTTGGGCATCCAAGCGGT TCGAAAGCTCCGGCGGTGCAGGATGAGCCCGCGGCCTATCAGCTTGTGG TGAGGTAATGGCTACCAAGGCGACGACGGGTAGCCGGCCTGAGAGGGCG ACCGGCCACACTGGGACTGAGACACGGCCAGACTCCTACGGGAGGCAGC AGTGGGGAATATTGCACAATGGGCGAAA	<i>Streptomyces</i> <i>griseorubens</i> шт.№37
5	TCGTACGATGAAGCCGCTTCGGTGGTGGATTAGTGGCGAACGGGTGAGTAAC ACGTGGGCAATCTGCCCTTCACTCTGGGACAAGCCCTGGAACGGGGTCTAA TACCGGATAACACTCTGTCCCGCATGGGACGGGGTTAAAAGCTCCGGCGGTG AAGGATGAGCCCGCGGCCTATCAGCTTGTGGTGGGGTAATGGCCTACCAAG GCGACGACGGGTAGCCGGCCTGAGAGGGCGACCGGCCACACTGGGACTGAGAC ACGGCCAGACTCCTACGGGAGGCAGCAGTGGGGAATATTGCACAATGGGCGA AAGCCTGATGCAGCGACGCCGCTGAGGGATGACGGCCTTCGGGTGTAAAC	<i>Streptomyces</i> <i>pratensis</i> шт.№38
6	CCACATGCAAGTCGAACGATGAAGCCGCTTCGGTGGTGGATTAGTGGCGAACG GGTGAGTAACACGTGGGCAATCTGCCCTTCACTCTGGGACAAGCCCTGGAAC GGGGTCTAATACCGGATAACACTCTGTCCCGCATGGGACGGGGTTAAAAGCTC CGGCGGTGAAGGATGAGCCCGCGGCCTATCAGCTTGTGGTGGGGTAATGGCC TACCAAGGCGACGACGGGTAGCCGGCCTGAGAGGGCGACCGGCCACACTGGGA CTGAGACACGGCCAGACTCCTACGGGAGGCAGCAGTGGGGAATATTGCACA	<i>Streptomyces</i> <i>flavofuscus</i> шт.№41

В таблице 4 представлены результаты по депонированию полученных нуклеотидных последовательностей актиномицетов в международной базе данных GenBank.

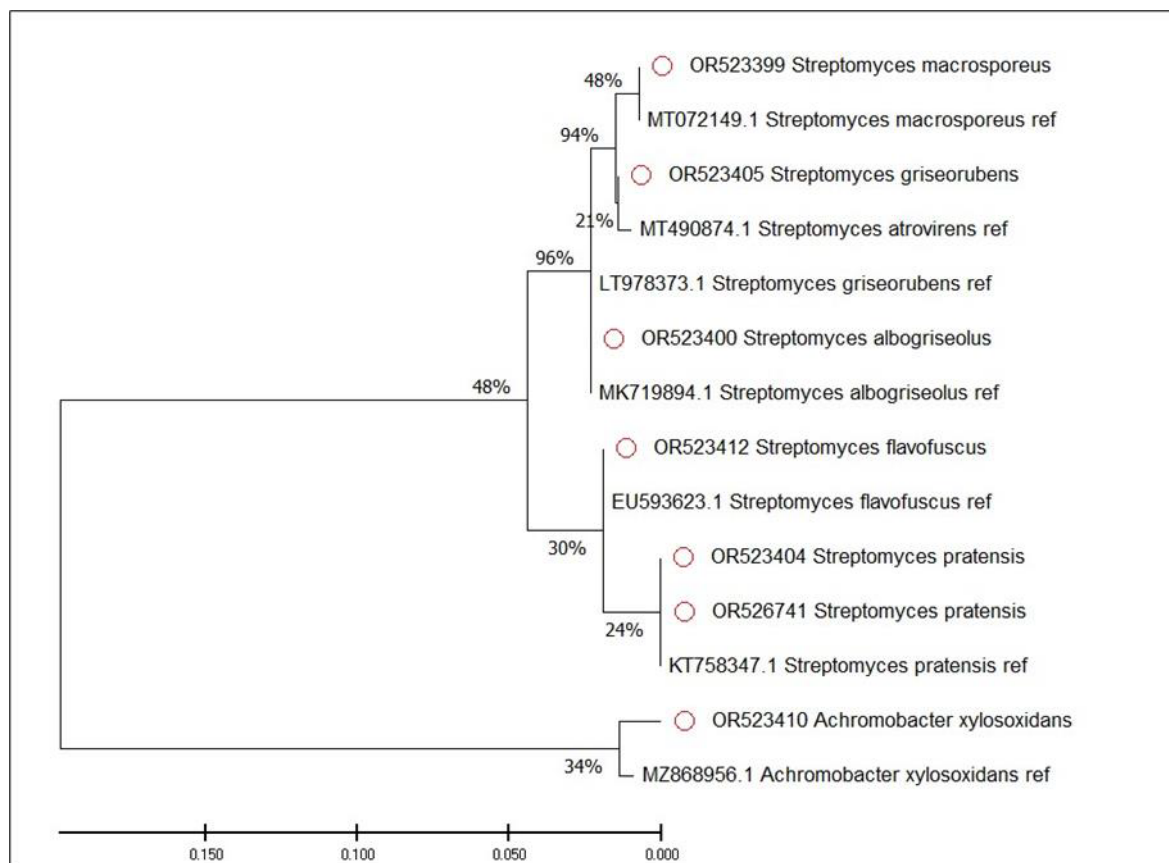
Таблица 4

Депонирование нуклеотидных последовательностей

Наименование штамма	№ депонирования
<i>Streptomyces macrosporeus</i> шт.№24	OR523399
<i>Streptomyces albogriseolus</i> шт.№32	OR523400
<i>Streptomyces pratensis</i> шт.№34	OR523404
<i>Streptomyces griseorubens</i> шт.№37	OR523405
<i>Streptomyces pratensis</i> шт.№38	OR526741
<i>Streptomyces flavofuscus</i> шт.№41	OR523412

На основании извлеченных нуклеотидных последовательностей бактериальных штаммов был осуществлён филогенетический анализ, включающий в себя построение

филогенетических деревьев. Эти деревья отображают эволюционные взаимосвязи между организмами, раскрывая их генетическую наследственность и филогенетическую историю (Рисунок 1).



Примечание: Красным кругом отмечены образцы, исследованные в данной работе.

Рисунок 1. Филогенетическое дерево исследованных образцов по маркерному гену 16s rRNA с использованием метода максимального правдоподобия

Для разработки биопрепаратов на основе актиномицетов, выделенных из коровьего навоза, было изолировано шесть чистых культур с использованием микробиологических методов. В условиях лаборатории исследовалось, как различные штаммы влияют на рост проростков твердой пшеницы (Таблица 5).

Всхожесть является ключевым показателем качества семян, отражающим их пригодность для посева. Этот параметр определяется как доля нормально проросших семян в пробе и выражается в процентах. Семена с высокой всхожестью при соблюдении оптимальной агротехники дают быстрые и крепкие ростки. Семена, не соответствующие стандартным требованиям по всхожести, не допускаются к посеву. Повышение всхожести сельскохозяйственных культур остаётся одной из приоритетных задач в семеноводстве.

Таблица 5

Влияние культуральных фильтратов микроорганизмов на рост и развитие пшеницы

Штамм №	Энергия прорастания, %	Всхожесть, % (6 сутки)	Длина ростка, см	Длина корешка, см	Число корешков, шт
Контроль	62±2	90±0	2,15±0,7	2,85±0,01	4,5±0,06
<i>Str. pratensis</i> шт.№24	82±2	97±2,6	3,0±0,1	3,66±0,02	4,89±0,01
<i>Str. macrosporeus</i> шт.№32	83±3,6	95±1	2,7±0,17	3,3±0,1	4,8±0,01
<i>Str. griseorubens</i> шт.№34	92±2	92±1	5,82±0,01	3,17±0,02	4,89±0,02
<i>Str. albogriseolus</i> шт.№37	100±0	100±0	6,53±0,02	5,03±0,02	4,9±0,03
<i>Str. flavofuscus</i> шт.№38	100±0	100±0	7,29±0,03	5,15±0,01	4,98±0,01
<i>Str. pratensis</i> шт.№41	95±2	95±1,7	4,84±0,03	3,29±0,01	4,89±0,02
HCP ₀₅	2,7	2,4	0,5	0,06	0,05

В результате эксперимента обработка семян культуральными фильтратами штаммов *Str. albogriseolus* шт.№37 и *Str. flavofuscus* шт.№38 обеспечила 100% всхожесть семян, что свидетельствует о высокой эффективности данных штаммов. Этот показатель является значимым, поскольку всхожесть семян играет ключевую роль в успешном развитии растений.

При исследовании ростостимулирующих свойств новых штаммов были выявлены наиболее активные из них, способные стимулировать рост растений. Некоторые штаммы способствовали развитию корневой системы, другие повышали всхожесть семян или демонстрировали цитокинин продуцирующую активность. Например, обработка семян пшеницы суспензией штаммов *Str. pratensis* шт.№24, *Str. griseorubens* шт.№34, *Str. albogriseolus* шт.№37 и *Str. flavofuscus* шт.№38 привела к значительному увеличению всхожести (Рисунок 2).

Штаммы с цитокинин продуцирующей активностью оказывали существенное влияние на развитие проростков пшеницы. При этом ростки развивались интенсивнее, чем корневая система, что подчеркивает необходимость сбалансированного роста надземной и подземной частей растения. Максимальный рост длины корешков составил 1,8 раза, а длина ростков увеличилась в 3,3 раза по сравнению с контролем, что свидетельствует о целесообразности использования данных штаммов в агрономии.

По результатам исследования наибольшее влияние на развитие проростков оказывали штаммы *Str. flavofuscus* шт.№38, *Str. albogriseolus* шт.№37 и *Str. griseorubens* шт.№34, при этом максимальная длина проростков была достигнута при инокуляции штаммом *Str. flavofuscus* шт.№38, что указывает на его выраженные ростостимулирующие свойства. Для стимуляции роста корешков наиболее эффективными оказались штаммы *Str.*

albogriseolus шт.№37 и *Str. flavofuscus* шт.№38, где прирост длины достигал 1,7 раза по сравнению с контролем. Важно отметить, наибольший эффект на развитие зеленой массы оказали метаболиты, продуцируемые *Str. albogriseolus* шт.№37, *Str. macrosporeus* шт.№32 и *Str. flavofuscus* шт.№38. Таким образом, полученные результаты подтверждают перспективность использования указанных штаммов для повышения урожайности и стимуляции роста растений, что может иметь положительное влияние на сельское хозяйство и агрономию в целом.

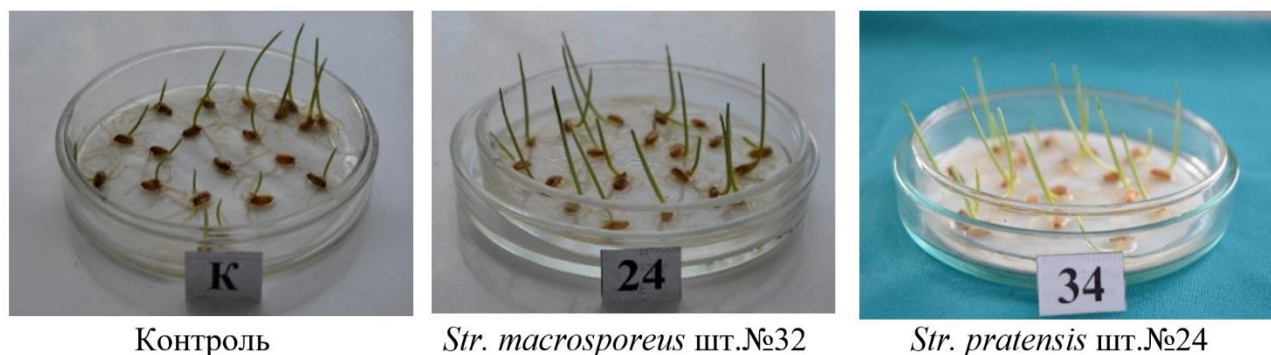


Рисунок 2. Рост и развитие проростков пшеницы под действием КФ штаммов микроорганизмов

Обсуждение

Навоз, являющийся продуктом жизнедеятельности крупного рогатого скота (КРС), представляет собой ценный источник питательных веществ. При рациональном использовании он способствует повышению плодородия почвы [25,26]. Внесение обработанного навоза КРС может увеличить урожайность сельскохозяйственных культур. Например, применение 60 т/га навоза повышает урожайность яровой пшеницы и сои на 32%, а ячменя – на 59% по сравнению с контрольной группой [27,28].

Исследования *in vitro* продемонстрировали противогрибковую активность изолятов стрептомицетов, продуцирующих боррелидин, против *Pythium aphanidermatum*, *P. splendens*, *P. sylvaticum*, *P. ultimum* и возбудителей фитофтороза, таких, как *Phytophthora capsici*, *P. cinnamomi*, *P. palmivora* и *P. parasitica* [29,30]. Некоторые штаммы *Streptomyces*, колонизирующие корни томатов, повышают их устойчивость к *Rhizoctonia solani* за счет активации липоксигеназы и фенилаланин-аммиачной лиазы, что способствует катаболизму сложных органических веществ и улучшает рост растений.

Применение биопрепаратов снижает потребность в минеральных удобрениях и способствует устойчивому аграрному производству [31]. Грамположительные бактерии рода *Streptomyces* активно учувствуют в стимуляции роста растений и восстановлении почвы [32].

Streptomyces участвуют в разложении сложных соединений, таких, как лигноцеллюлоза, ксилан, целлюлоза и лигнин, способствуя разложению органических материалов в почве [33]. Стрептомицеты, выделенные из растений и ризосферы, демонстрируют

ростостимулирующую активность [34]. Некоторые виды способны усваивать растворимый минеральный фосфор, синтезируя сидерофоры, ауксины, цитокинины и витамины, что улучшает фосфорное питание растений и способствует их развитию [35-37].

В настоящее время использование биопрепаратов рассматривается как альтернативный метод сокращения применения минеральных удобрений и повышения урожайности. Они позволяют эффективно осваивать пустынные территории в экологически безопасных условиях, снижая затраты на сельское хозяйство и повышая доступность питательных веществ [38, 39].

Заключение

В лабораторных условиях были изучены микробиологические свойства коровьего навоза с целью выделения новых штаммов актиномицетов. Выделенные ростостимулирующие штаммы в дальнейшем могут быть использованы для разработки биопрепаратов, направленных на переработку отходов животноводства и повышение урожайности сельскохозяйственных культур.

Результаты исследования показали следующее:

1. Анализ микробного состава коровьего навоза показал 9 млн/мл аммонификаторов, при этом азотфиксирующие бактерии доминировали и достигали 20×10^6 КОЕ/мл.

2. Выявлено, что в навозе крупно-рогатого скота распространены такие виды актиномицетов, как *Str. flavofuscus*, *Str. griseorubens*, *Str. albogriseolus*, *Str. macrosporeus*, *Str. pratensis*. Эти штаммы могут быть использованы для переработки отходов животноводства в органическое удобрение.

3. Выделенные актиномицеты продемонстрировали ростостимулирующие свойства, повышая всхожесть семян твердой пшеницы, особенно при обработке штаммами *Str. pratensis* шт.№24, *Str. griseorubens* шт.№34, *Str. albogriseolus* шт.№37, *Str. flavofuscus* шт.№38. *Str. pratensis* Шт.№24 проявил способность к синтезу цитокининов, а ауксин-продуцирующими свойствами обладали штаммы *Str. pratensis* шт.№24 и *Str. macrosporeus* шт.№32, что активно стимулировало рост корней.

Такой научный подход способен улучшить агрономические практики и способствовать устойчивому развитию сельского хозяйства.

Вклад авторов

Н.А.П. – разработка концепции, утверждение окончательного варианта статьи для публикации. **К.А.Н., О.А.Б., и А.А.А.** – проведение исследования, подготовка и редактирование статьи. **Е.Д.М.** – проведение исследования, написание статьи.

Финансирование

Исследования выполнены в рамках проекта ИРН BR24992961 «Разработка новых технологий переработки угольных отходов с использованием биосистем в органоминеральные удобрения для повышения плодородия почвы и урожайности сельскохозяйственных культур».

Конфликты интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Соблюдение этических норм

Настоящая статья не содержит описания выполненных авторами исследований с участием людей или использованием животных в качестве объектов.

Список литературы

1. Шавкинова ММ, Соколова ОЯ. Факторы, влияющие на содержание актиномицетов в почве. Современное общество: глобальные и региональные процессы. 2021;9-13.
2. Скороходов ВЮ. Биологическая активность почвы как фактор влияния на урожайность при возделывании яровой твёрдой пшеницы в монокультуре и севооборотах степной зоны южного Урала. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2022;3:195-202. doi.org/10.32786/2071-9485-2022-03-23
3. Михайлова НН, Никитина ЕА, Елисеева ЛВ. Влияние микробиологических удобрений на биологическую активность почвы и урожайность гороха. Научно-образовательные и прикладные аспекты производства и переработки сельскохозяйственной продукции. 2021;178-182.
4. Новикова ИИ. Микробиологическая защита растений - основа фитосанитарной оптимизации агроэкосистем. Защита и карантин растений. 2017;4:3-6.
5. Светлакова НА, Серазетдинова ЮР. Бактерии рода Streptomyces как наиболее важные актиномицеты и их влияние на развитие растений. VIII Пущинская конференция «Биохимия, физиология и биосферная роль микроорганизмов», Школа-конференция молодых ученых, аспирантов и студентов «Генетические технологии в микробиологии и микробное разнообразие»: сборник тезисов. 2022;6. doi.org/10.34756/GEOS.2022.17.38404
6. Dewi TK, Agustiani D, Antonius S. Secondary metabolites production by actinomycetes and their antifungal activity. KnE Life Sciences. 2017;256-264. doi.org/10.18502/cls.v3i4.713
7. Рогожин ЕА, Барашкова АС. Антибиотический потенциал алкалофильных актиномицетов из рода streptomyces //Современные синтетические методологии для создания лекарственных препаратов и функциональных материалов (MOSM 2024). 2024;304-304.
8. Патрушева ММ. Поиск активных антагонистов для борьбы с фузариозом сельскохозяйственных культур. Молодые ученые в решении актуальных проблем науки. 2023;304-305.
9. Албегова АВ. Национальный проект «экология» федеральный проект «чистая страна».
10. Кызметова ЛА. и др. Изучение видового состава микромицетов в лесных почвах Кунгей Алатау (Казахстан). Разнообразие почв и биоты Северной и Центральной Азии. 2021;261-263.
11. Гаузе ГФ, Преображенская ТП, Свешникова МА. Определитель актиномицетов. 1983;247.
12. Назаренко НН, Свистова ИД, Корецкая ИИ. Структура комплекса почвенных актиномицетов в промышленной и транспортной зонах г. Воронежа. Экология урбанизированных территорий. 2015;3:18-21.
13. Назаренко НН, Свистова ИД, Корецкая ИИ. Актиномицеты как биоиндикационный показатель автотранспортного загрязнения почвы. Утилизация отходов производства и потребления: инновационные подходы и технологии. 2020;139-144.

14. Вафин ИХ, Сафин РИ. Оценка эффективности применения физиологически активных веществ и удобрений на озимой пшенице. Агробиотехнологии и цифровое земледелие. 2022;2:19-23.
15. Арипов БФ и др. Динамика биосинтеза белка различными штаммами почвенных актиномицетов. Central Asian Journal of Medical and Natural Science. 2021;2:3:191-198.
16. Tiquia SM, Wan HC, Tam NFY. Microbial population dynamics and enzyme activities during composting. Compost science & utilization. 2002;10:2:150-161. doi.org/10.1080/1065657X.2002.10702075
17. Mumtaz MZ, et al. Production of lactic and acetic acids by Bacillus sp. ZM20 and Bacillus cereus following exposure to zinc oxide: A possible mechanism for Zn solubilization. Rhizosphere. 2019;12:100170. doi.org/10.1016/j.rhisph.2019.100170
18. Hussain A, et al. Production and implication of bio-activated organic fertilizer enriched with zinc-solubilizing bacteria to boost up maize (Zea mays L.) production and biofortification under two cropping seasons. Agronomy. 2019;10:1:39. doi.org/10.3390/agronomy10010039
19. Zhu Y, et al. Plant growth-promoting rhizobacteria: A good companion for heavy metal phytoremediation. Chemosphere. 2023;338:139475. doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139475
20. Batubara UM, et al. Isolation and characterization of cellulolytic bacteria diversity in peatland ecosystem and their cellulolytic activities. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021;934:1:012028. doi.org/10.1088/1755-1315/934/1/012028
21. Мокаренко ТВ, Воробьева ЕВ. Практическое пособие по спецкурсу «Большой практикум». Пробоотбор в химико-экологическом мониторинге. 2004;30.
22. Нетрусов АИ и др. Практикум по микробиологии. М.: Академия. 2005;608:608.
23. Oveisi M, et al. Potential for endozoochorous seed dispersal by sheep and goats: Risk of weed seed transport via animal faeces. Weed Research. 2021;61:1:1-12. doi.org/10.1111/wre.12461
24. Калинин АА и др. Влияние нового биокомпозита на основе грибов рода триходерма на почвенные микроорганизмы и растения разных таксонов. Теоретическая и прикладная экология. 2021;2:115-121.
25. Usman S, Burt JA. Preliminary experimental assessments of 12 different organic materials for soil quality and soil fertility management exercises //International Journal of Current Research and Review. 2013;5:6:7. doi.org/10.25750/1995-4301-2021-2-115-121
26. Tiquia SM, Tam NFY. Characterization and composting of poultry litter in forced-aeration piles. Process Biochemistry. 2002;37:8:869-880. doi.org/10.1016/S0032-9592(01)00274-6
27. Никитин СН, Захаров СА. Влияние минеральных удобрений, биопрепаратов и последствия навоза на биологические свойства почвы и урожайность яровой пшеницы. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2016;2:37-42. doi.org/10.18286/1816-4501-2016-2-37-42
28. Титова ГА. Действие и последствия осадков городских сточных вод и навоза КРС на урожайность сельскохозяйственных культур. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2012;3: 43-46.
29. Dolya B, et al. A database of sequenced genomes of different Streptomyces albus J1074 strains and uses thereof. Visnyk Lviv Univ Biol Ser. 2021. doi.org/10.30970/VLUBS.2021.85.03
30. Chen YY, Chen PC, Tsay TT. The biocontrol efficacy and antibiotic activity of Streptomyces plicatus on the oomycete Phytophthora capsica. Biological Control. 2016; 98: 34-42. doi.org/10.1016/j.biocontrol.2016.02.011

31. Ebrahimi-Zarandi M, et al. Exploring two Streptomyces species to control Rhizoctonia solani in tomato. Agronomy. 2021;11:7:1384. doi.org/10.3390/agronomy11071384
32. Trujillo ME, et al. Endophytic actinobacteria and the interaction of Micromonospora and nitrogen fixing plants. Frontiers in Microbiology. 2015;6:1341. doi.org/10.3389/fmicb.2015.01341
33. Olanrewaju OS, Babalola OO. Streptomyces: implications and interactions in plant growth promotion. Applied microbiology and biotechnology. 2019;103:1179-1188.
34. Vurukonda SSKP, Giovanardi D, Stefani E. Plant growth promoting and biocontrol activity of Streptomyces spp. as endophytes. International journal of molecular sciences. 2018;19:4:952. doi.org/10.3390/ijms19040952
35. Bulut S. Evaluation of yield and quality parameters of phosphorous-solubilizing and N-fixing bacteria inoculated in wheat (Triticum aestivum L.). Turkish Journal of Agriculture and Forestry. 2013;37:5:545-554. doi.org/10.3906/tar-1212-96
36. Hayes JE, Richardson AE, Simpson RJ. Components of organic phosphorus in soil extracts that are hydrolysed by phytase and acid phosphatase //Biology and Fertility of Soils. 2000;32:279-286.
37. Elkoca E, Turan M, Donmez MF. Effects of single, dual and triple inoculations with Bacillus subtilis, Bacillus megaterium and Rhizobium leguminosarum bv. Phaseoli on nodulation, nutrient uptake, yield and yield parameters of common bean (Phaseolus vulgaris l. cv.'elkoca-05'). Journal of Plant Nutrition. 2010;33:14:2104-2119. doi.org/10.1080/01904167.2010.519084
38. Singh JS, Pandey VC, Singh DP. Efficient soil microorganisms: a new dimension for sustainable agriculture and environmental development. Agriculture, ecosystems & environment. 2011;140:339-353. doi.org/10.1016/j.agee.2011.01.017
39. Zaeim AN, Torkaman M, Ghasemeeyan H. The Importance of Biofertilizers in Sustainable Production of Wheat: A. Int. J. Sci. Res. Sci. Tec. 2017;3:6: 252-258.

Ірі қара көңінде таралған Streptomyces тұқымдасына жататын актиномицеттердің түрлері және олардың жаздық бидай өскіндерінің өсуіне әсері

**А.П. Науанова^{1,2}, Э.М. Баимбетова¹, А.Н. Қонқыбаева^{2*},
Д.М. Ерпашева², А.Б. Оңғарбай², А.А. Аманжолова²**

¹С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан

²Био-КАТУ, Астана, Қазақстан

Аңдатпа. Бұл мақалада ірі қара көңінен бөлініп алынған актиномицеттердің морфологиялық белгілері, сондай-ақ олардың генотиптеу және жаздық бидайдың өскіндеріне қатысты өсуді ынталандырушы қасиеттерін бағалау нәтижелері ұсынылған. In vitro жағдайында Streptomyces macrosporeus шт.№32, Streptomyces albogriseolus шт.№37, Streptomyces pratensis шт.№24, Streptomyces griseorubens шт.№34 және Streptomyces flavofuscus шт.№38 штамдарымен тұқымдарды инокуляциялау жүргізілді. Нәтижесінде, осы микроағзалардың өсімдіктердің өсуін жоғары тиімділігі анықталды. Str. albogriseolus шт.№37 және Str. flavofuscus шт.№38 штамдарының культуралық фильтраттарымен тұқымдарды өңдеу 100% өнуін қамтамасыз етті,

бұл аталған штамдардың жоғары биологиялық тиімділігін көрсетеді. Кейбір штамдар тамыр жүйесінің дамуын тиімді ынталандырса, басқалары тұқымдардың өнуін арттырды немесе цитокининдер синтездеу қабілетін көрсетті. Мысалы, *Str. pratensis* шт.№24, *Str. griseorubens* шт.№34, *Str. albogriseolus* шт.№37 және *Str. flavofuscus* шт.№38 штамдарының суспензиясымен бидай тұқымдарын өңдеу айтарлықтай өнгіштігінің артуына әкелді. Тамырлардың максималды ұзындығы 1,8 есе, ал өскіндердің ұзындығы бақылаумен салыстырғанда 3,3 есе артты, бұл аталған штамдарды агрономияда пайдаланудың тиімділігін көрсетеді. Өскіндердің дамуына ең айқын әсерді *Str. flavofuscus* шт.№38, *Str. albogriseolus* шт.№37 және *Str. griseorubens* шт.№34 штамдары көрсетті, ал максималды өскін ұзындығы *Str. flavofuscus* шт.№38 штамымен үнделген кезде болды, бұл оның жоғары өсуді ынталандырушы белсенділігін көрсетеді. Тамырлардың өсуін ынталандыру үшін *Str. albogriseolus* шт.№37 және *Str. flavofuscus* шт.№38 штамдары оңтайлы болып, тамырлардың ұзындығын бақылаумен салыстырғанда 1,7 есе арттыруды қамтамасыз етті. Осы орайда *Streptomyces* sp. штамдарын биопрепараттар негізі ретінде пайдалану экологиялық таза ауыл шаруашылығы үшін перспективті бағыт болып табылады.

Түйін сөздер: актиномицеттер, ірі қара көңі, бидай, қоректік орталар, өсуді ынталандыру қасиеттері

Types of *Streptomyces actinomycetes* widespread in cattle manure and their influence on the growth of spring wheat seedlings

A.P. Nauanova^{1,2}, E.M. Baimbetova¹, A.N. Konkybayeva^{2*},
D.M. Yerpasheva², A.B. Onggarbay², A.A. Amanzholova²

¹*S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan*

²*Bio-KATU, Astana, Kazakhstan*

Abstract. This article presents the cultural and morphological characteristics of actinomycetes isolated from cow dung, as well as the results of their genotyping and assessment of growth-stimulating properties in relation to the seedlings of spring wheat. In vitro inoculation of seeds was conducted with strain *Streptomyces macrosporeus* st.№32, *Streptomyces albogriseolus* st.№37, *Streptomyces pratensis* st.№24, *Streptomyces griseorubens* st.№34, and *Streptomyces flavofuscus* st.№38. As a result, a high efficiency of these microorganisms in stimulating plant growth was established. Treatment of seeds with cultural filtrates of strains *Str. Albogriseolus* st.№37 and *Str. Flavofuscus* st.№38 ensured 100% seed germination, indicating the high biological effectiveness of these strains. Some strains effectively stimulated the development of the root system, while others increased seed germination or demonstrated the ability to synthesize cytokinins. Thus, treatment of wheat seeds with a suspension of strains *Str. Pratensis* st.№24, *Str. Griseorubens* st.№34, *Str. albogriseolus* st.№37, and *Str. flavofuscus* st.№38 led to a significant increase in germination. The maximum increase in root length was 1.8 times, while the length of seedlings increased 3.3 times compared to the control, indicating the feasibility of using these strains in agronomy. The most pronounced influence on seedling development was exerted by strains *Str. flavofuscus* st.№38, *Str. albogriseolus* st.№37, and *Str. griseorubens* st.№34, with the maximum seedling length achieved when inoculated with strain *Str. flavofuscus* st.№38, indicating its high growth-

stimulating activity. For stimulating root growth, the optimal strains were Str. albogriseolus st.№37 and Str. flavofuscus st.№38, which ensured an increase in root length by up to 1.7 times compared to the control. In this context, the use of Streptomyces sp. strains as biopreparations represents a promising direction for environmentally friendly agriculture.

Keywords: actinomycetes, cattle manure, wheat, nutrient media, growth-stimulating properties

References

1. Shavkinova MM, Sokolova OYA. Faktory, vliyayushchiye na sodержaniye aktinomitsetov v pochve [Factors influencing the content of actinomycetes in soil]. Sovremennoye obshchestvo: global'nyye i regional'nyye protsessy [Modern society: global and regional processes]. 2021;9-13. [in Russian]
2. Skorokhodov VYU. Biologicheskaya aktivnost' pochvy kak faktor urozhaynosti pri vozdeleyvanii yarovoy tvordoy pshenitsy v monokul'ture i sevooborotakh stepnoy zony Yuzhnogo Urala [Biological activity of the soil as a factor in crop yield in the cultivation of spring durum wheat in monoculture and crop rotations in the steppe zone of the Southern Urals]. Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vyssheye professional'noye obrazovaniye. 2022;3:195-202. doi.org/10.32786/2071-9485-2022-03-23 [in Russian]
3. Mikhaylova NN, Nikitina YeA, Yeliseyeva LV. Vliyaniye mikrobiologicheskikh udobreniy na biologicheskuyu aktivnost' pochvy i urozhaynost' gorokha [Influence of microbiological fertilizers on the biological activity of the soil and pea yield]. Nauchno-obrazovatel'nyye i prikladnyye aspekty proizvodstva i pererabotki sel'skokhozyaystvennoy produktsii [Scientific, educational and applied aspects of production and processing of agricultural products]. 2021;178-182. [in Russian]
4. Novikova II. Mikrobiologicheskaya zashchita rasteniy-osnova fitosanitarnoy optimizatsii agroekosistem [Microbiological protection of plants is the basis of phytosanitary optimization of agroecosystems]. Zashchita i karantin rasteniy [Protection and quarantine of plants]. 2017;4:3-6. [in Russian]
5. Svetlakova NA, Serazetdinova YUR. Bakterii roda Streptomyces kak naiboleye vazhnyye aktinomitsety i ikh vliyaniye na razvitiye rasteniy [Bacteria of the genus Streptomyces as the most important actinomycetes and their influence on plant development]. VIII Pushchinskaya konferentsiya «Biokhimiya, fiziologiya i biosfernaya rol' mikroorganizmov», Shkola-konferentsiya molodykh uchenykh, aspirantov i studentov «Geneticheskiye tekhnologii v mikrobiologii i mikrobnoye raznoobrazie»: sbornik tezisov [III Pushchino conference "Biochemistry, physiology and biosphere role of microorganisms", School-conference of young scientists, graduate students and students "Genetic technologies in microbiology and microbial diversity": collection of abstracts]. 2022;6. doi.org/10.34756/GEOS.2022.17.38404 [in Russian]
6. Dewi TK, Agustiani D, Antonius S. Secondary metabolites production by actinomycetes and their antifungal activity. KnE Life Sciences. 2017;256-264. doi.org/10.18502/cls.v3i4.713
7. Rogozhin YeA, Barashkova AS. Antibioticheskiy potentsial alkalofil'nykh aktinomitsetov iz roda streptomyces [antibiotic potential of alkalophilic actinomycetes from the genus streptomyces]. Sovremennyye sinteticheskiye metodologii dlya sozdaniya lekarstvennykh preparatov i funktsional'nykh materialov [Modern synthetic methodologies for the creation of drugs and functional materials] (MOSM 2024). – Yekaterinburg. 2024;304-304. [in Russian]

8. Patrusheva MM. Poisk aktivnykh antagonistov dlya bor'by s fuzariozom sel'skokhozyaystvennykh kul'tur [Search for active antagonists to combat fusarium wilt in agricultural crops]. *Molodyye uchenyye v reshenii aktual'nykh problem nauki* [young scientists in solving urgent problems of science]. 2023;304-305. [in Russian]
9. Albegova AV. Natsional'nyy proyekt «ekologiya» federal'nyy proyekt «chistaya strana». [in Russian]
10. Kyzmetova LA. Similarity coefficientIzuchenie vidovogo sostava mikromitsetov v lesnykh pochvakh Kungey Alatau (Kazakhstan) [Study of the species composition of micromycetes in forest soils of Kungei Alatau (Kazakhstan)]. *Raznoobrazie pochv i bioty Severnoy i Tsentral'noy Azii* [Diversity of soils and biota of Northern and Central Asia]. 2021;261-263. [in Russian]
11. Gauze GF, Preobrazhenskaya TP, Sveshnikova MA. Opredelitel' aktinomitsetov [Key to actinomycetes]. 1983;247. [in Russian]
12. Nazarenko NN, Svistova ID, Koretskaya II. Struktura kompleksa pochvennykh aktinomitsetov v promyshlennoy i transportnoy zonakh g. Voronezha [Structure of the complex of soil actinomycetes in the industrial and transport zones of Voronezh] *Ekologiya urbanizirovannykh territoriy* [Ecology of urbanized territories]. 2015;3:18-21. [in Russian]
13. Nazarenko NN, Svistova ID, Koretskaya II. Aktinomitsety kak bioindikatsionnyy pokazatel' avtotransportnogo zagryazneniya pochvy [Actinomycetes as a bioindicative indicator of motor transport soil pollution]. *Utilizatsiya otkhodov proizvodstva i potrebleniya: innovatsionnyye podkhody i tekhnologii* [Utilization of industrial and consumption waste: innovative approaches and technologies]. 2020;139-144. [in Russian]
14. Vafin IKH., Safin RI. Otsenka effektivnosti primeneniya fiziologicheskii aktivnykh veshchestv i udobreniy na ozimoy pshenitse [Evaluation of the efficiency of using physiologically active substances and fertilizers on winter wheat]. *Agrobiotekhnologii i tsifrovoye zemledeliye* [Agrobiotechnology and digital agriculture]. 2022;2:19-23. [in Russian]
15. Aripov BF, et al. Dinamika biosinteza belka razlichnymi shtammami pochvennykh aktinomitsetov [Dynamics of protein biosynthesis by various strains of soil actinomycetes]. *Central Asian Journal of Medical and Natural Science*. 2021;2:3:191-198. [in Russian]
16. Tiquia SM, Wan HC, Tam NFY. Microbial population dynamics and enzyme activities during composting. *Compost science & utilization*. 2002;10:2:150-161. doi.org/10.1080/1065657X.2002.10702075
17. Mumtaz MZ, et al. Production of lactic and acetic acids by *Bacillus* sp. ZM20 and *Bacillus cereus* following exposure to zinc oxide: A possible mechanism for Zn solubilization. *Rhizosphere*. 2019;12:100170. doi.org/10.1016/j.rhisph.2019.100170
18. Hussain A, et al. Production and implication of bio-activated organic fertilizer enriched with zinc-solubilizing bacteria to boost up maize (*Zea mays* L.) production and biofortification under two cropping seasons. *Agronomy*. 2019;10:1:39. doi.org/10.3390/agronomy10010039
19. Ashrafuzzaman M, et al. Efficiency of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) for the enhancement of rice growth. *African Journal of Biotechnology*. 2009;8:7.
20. Batubara UM, et al. Isolation and characterization of cellulolytic bacteria diversity in peatland ecosystem and their cellulolytic activities. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;934:1:012028. doi.org/10.1088/1755-1315/934/1/012028
21. Mokarenko TV, Vorob'yeva YeV. Prakticheskoye posobiye po spetskursu «Bol'shoy praktikum» Probootbor v khimiko-ekologicheskom monitoringe [Practical guide for the special course “Big Workshop” Sampling in chemical-ecological monitoring]. 2004;30. [in Russian]

22. Netrusov AI, et al. Praktikum po mikrobiologii [Workshop on microbiology] M.: Akademiya. 2005;608. [in Russian]
23. Hogan JP, Phillips CJC. Transmission of weed seed by livestock: a review. *Animal Production Science*. 2011;51:5:391-398.
24. Kalinin AA, et al. Vliyaniye novogo biokompozita na osnove gribov roda trikhoderma na pochvennyye mikroorganizmy i rasteniya raznykh taksonov [Effect of a new biocomposite based on Trichoderma fungi on soil microorganisms and plants of different taxa]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* [Theoretical and Applied Ecology]. 2021;2:115-121. [in Russian]
25. Usman S, Burt JA. Preliminary experimental assessments of 12 different organic materials for soil quality and soil fertility management exercises. *International Journal of Current Research and Review*. 2013;5:6:7.
26. Tiquia SM, Tam NFY. Characterization and composting of poultry litter in forced-aeration piles. *Process Biochemistry*. 2002;37:8:869-880. doi.org/10.1016/S0032-9592(01)00274-6
27. Nikitin SN, Zakharov SA. Vliyaniye mineral'nykh udobreniy, biopreparatov i posledeystviya navoza na biologicheskiye svoystva pochvy i urozhaynost' yarovoy pshenitsy [The influence of mineral fertilizers, biological products and the aftereffect of manure on the biological properties of soil and the yield of spring wheat]. *Vestnik Ul'yanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [ulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy]. 2016;2:37-42. doi.org/10.18286/1816-4501-2016-2-37-42 [in Russian]
28. Titova GA. Deystviye i posledeystviye osadkov gorodskikh stochnykh vod i navoza KRS na urozhaynost' sel'skokhozyaystvennykh kul'tur [Action and aftereffect of urban wastewater sediments and cattle manure on the yield of agricultural crops]. *Vestnik Ul'yanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy]. 2012;3:43-46. [in Russian]
29. Dolya B, et al. A database of sequenced genomes of different *Streptomyces albus* J1074 strains and uses thereof. *Visnyk Lviv Univ Biol Ser*. 2021. doi.org/10.30970/VLUBS.2021.85.03
30. Chen YY, Chen P. C., Tsay T. T. The biocontrol efficacy and antibiotic activity of *Streptomyces plicatus* on the oomycete *Phytophthora capsica*. *Biological Control*. 2016;98:34-42. doi.org/10.1016/j.biocontrol.2016.02.011
31. Ebrahimi-Zarandi M, et al. Exploring two *Streptomyces* species to control *Rhizoctonia solani* in tomato // *Agronomy*. 2021;11:7:1384. doi.org/10.3390/agronomy11071384
32. Trujillo ME, et al. Endophytic actinobacteria and the interaction of *Micromonospora* and nitrogen fixing plants // *Frontiers in Microbiology*. 2015;6:1341. doi.org/10.3389/fmicb.2015.01341
33. Olanrewaju OS, Babalola OO. *Streptomyces*: implications and interactions in plant growth promotion. *Applied microbiology and biotechnology*. 2019;103:1179-1188.
34. Vurukonda SSKP, Giovanardi D, Stefani E. Plant growth promoting and biocontrol activity of *Streptomyces* spp. as endophytes. *International journal of molecular sciences*. 2018;19:4: 952. doi.org/10.3390/ijms19040952
35. Bulut S. Evaluation of yield and quality parameters of phosphorous-solubilizing and N-fixing bacteria inoculated in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 2013;37:5:545-554. doi.org/10.3906/tar-1212-96
36. Hayes JE, Richardson AE, Simpson RJ. Components of organic phosphorus in soil extracts that are hydrolysed by phytase and acid phosphatase. *Biology and Fertility of Soils*. 2000;32:279-286.

37. Elkoca E, Turan M, Donmez MF. Effects of single, dual and triple inoculations with *Bacillus subtilis*, *Bacillus megaterium* and *Rhizobium leguminosarum* bv. Phaseoli on nodulation, nutrient uptake, yield and yield parameters of common bean (*Phaseolus vulgaris* l. cv.'elkoca-05'). *Journal of Plant Nutrition*. 2010;33:14:2104-2119. doi.org/10.1080/01904167.2010.519084

38. Singh JS, Pandey VC, Singh DP. Efficient soil microorganisms: a new dimension for sustainable agriculture and environmental development // *Agriculture, ecosystems & environment*. 2011;140:339-353. doi.org/10.1016/j.agee.2011.01.017

39. Zaeim AN, Torkaman M, Ghasemeeyan H. The Importance of Biofertilizers in Sustainable Production of Wheat: *A. Int. J. Sci. Res. Sci. Tec.* 2017;3:6:252-258.

Сведения об авторах:

Науанова Айнаш Пахуашовна – доктор биологических наук, профессор кафедры «Агрохимия и почвоведение», Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина, генеральный директор ТОО «Био-KATU», проспект Женис, 62, Z11F9K5, Астана, Казахстан.

Конкыбаева Адина Ниязбековна – автор-корреспондент, магистр сельскохозяйственных наук, младший научный сотрудник ТОО «Био-KATU», проспект Женис, 62, Z11F9K5, Астана, Казахстан.

Ернашева Дана Муратовна – магистр естественные науки, научный сотрудник ТОО «Био-KATU», проспект Женис, 62, Z11F9K5, Астана, Казахстан.

Онгарбай Айсулу Бауыржановна – магистр сельскохозяйственных наук, младший научный сотрудник ТОО «Био-KATU», проспект Женис, 62, Z11F9K5, Астана, Казахстан.

Аманжолова Аягоз Аскарровна – лаборант кафедры «Агрохимия и почвоведение», Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина, проспект Женис, 62, Z11F9K5, Астана, Казахстан.

Авторлар туралы мәліметтер:

Науанова Айнаш Пахуашовна – биология ғылымдарының докторы, «агрохимия және топырақтану» кафедрасының профессоры, С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, «Био-KATU» ЖШС бас директоры, Жеңіс даңғылы 62, Z11F9K5, Астана, Қазақстан.

Қонқыбаева Адина Ниязбекқызы – хат-хабар авторы, ауыл шаруашылығы ғылымдарының магистрі, «Био-KATU» ЖШС кіші ғылыми қызметкері, Жеңіс даңғылы 62, Z11F9K5, Астана, Қазақстан.

Ернашева Дана Муратовна – жаратылыстану ғылымдарының магистрі, «Био-KATU» ЖШС ғылыми қызметкері, Жеңіс даңғылы 62, Z11F9K5, Астана, Қазақстан.

Онғарбай Айсулу Бауыржанқызы – ауыл шаруашылығы ғылымдарының магистрі, «Био-KATU» ЖШС кіші ғылыми қызметкері, Жеңіс даңғылы 62, Z11F9K5, Астана, Қазақстан.

Аманжолова Аягоз Аскарровна – «агрохимия және топырақтану» кафедрасының лаборанты, С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, «Био-KATU» ЖШС бас директоры, Жеңіс даңғылы 62, Z11F9K5, Астана, Қазақстан.

Authors' information:

Nauanova Ainash Pakhuashovna – doctor of biological sciences, professor, department of agrochemistry and soil science, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, «Bio-KATU» LLP general manager, Zhenis avenue, 62, Z11F9K5, Astana, Kazakhstan.

Konkybayeva Adina Niyazbekqyzy – corresponding author, master of agricultural sciences, «Bio-KATU» LLP young scientific researcher, Zhenis avenue, 62, Z11F9K5, Astana, Kazakhstan.

Yerpasheva Dana Muratovna – master of natural sciences, «Bio-KATU» LLP scientific researcher, Zhenis avenue, 62, Z11F9K5, Astana, Kazakhstan.

Onggarbay Aisulu Bauyrzhanqyzy – master of agricultural sciences, «Bio-KATU» LLP young scientific researcher, Zhenis avenue, 62, Z11F9K5, Astana, Kazakhstan.

Amanzholova Ayagoz Askarqyzy – laboratory assistant, department of agrochemistry and soil science, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, «Bio-KATU» LLP general manager, Zhenis avenue, 62, Z11F9K5, Astana, Kazakhstan.